

Primljen / Received: 23.1.2018.

Ispravljen / Corrected: 10.5.2018.

Prihvaćen / Accepted: 24.6.2018.

Dostupno online / Available online: 30.12.2018.

Duljina kritičnog područja AB stupova pri različitim razinama uzdužnog opterećenja

Autori:



Dr.sc. **Mounir Ait Belkacem**, dipl.ing.građ.
Nacionalni istraživački centar za potres
Sveučilište Saad Dahlab, Alžir
Građevinski fakultet
ait_belkacem1@yahoo.fr



Prof.dr.sc. **Hakim Bechtoula**, dipl.ing.građ.
Nacionalni istraživački centar za potres
bechhakim@gmail.com



Prof.dr.sc. **Nouredine Bourahla**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Saad Dahlab, Alžir
Građevinski fakultet
nbourahla@univ-blida.dz



Adel Ait Belkacem, dipl.ing.građ.
Sveučilište znanosti i tehnologije Ezzouar
Adel.AitBelkacem@keller-algerie.com

Prethodno priopćenje

Mounir Ait Belkacem, Hakim Bechtoula, Nouredine Bourahla, Adel Ait Belkacem

Duljina kritičnog područja AB stupova pri različitim razinama uzdužnog opterećenja

U radu se procjenjuje seizmičko ponašanje AB stupova pri različitim razinama uzdužnog opterećenja. Na temelju rezultata ispitivanja provedenih na ukupno 16 uzoraka AB stupova izloženih različitim razinama uzdužnog opterećenja, predložena je jednadžba koja povezuje duljinu kritičnog područja s primijenjenim uzdužnim opterećenjem, te je uspoređena s alžirskim normama za potres RPA99/V2003. Rezultati su pokazali da je prema navedenim normama duljina kritičnog područja podcijenjena pri visokoj razini uzdužne sile.

Ključne riječi:

armiranobetonski stupovi, uzdužno opterećenje, kritično područje, duktilnost

Preliminary note

Mounir Ait Belkacem, Hakim Bechtoula, Nouredine Bourahla, Adel Ait Belkacem

Confined length of reinforced concrete columns at various axial load levels

The seismic performance of reinforced concrete columns subjected to various levels of axial load is assessed in the paper. An equation relating the confined region to the applied axial load is proposed and compared to the Algerian seismic code RPA99/V2003 specifications, based on the concrete spalling length measured on 16 specimens under different axial load ratios, obtained from the experiments. Results indicate that the length of the confined region of a column subjected to high axial load is underestimated in the above mentioned specifications.

Key words:

reinforced concrete columns, axial load, confined region, ductility

Vorherige Mitteilung

Mounir Ait Belkacem, Hakim Bechtoula, Nouredine Bourahla, Adel Ait Belkacem

Länge des kritischen Bereichs von Stahlbetonfeilern bei unterschiedlichen Niveaus der Längsbelastung

In der Abhandlung wird das seismische Verhalten von Stahlbetonfeilern bei unterschiedlichen Niveaus der Längsbelastung eingeschätzt. Basierend auf den Ergebnissen der Untersuchungen, die an insgesamt 16 Proben von Stahlbetonfeilern durchgeführt wurden, die unterschiedlichen Niveaus der Längsbelastung ausgesetzt waren, wird eine Gleichung vorgeschlagen, welche die Länge des kritischen Bereichs mit der angewendeten Längsbelastung verbindet, und diese wurde mit den algerischen Erdbebennormen RPA 99/V2003 verglichen. Die Ergebnisse zeigten, dass gemäß den angeführten Normen die Länge des kritischen Bereichs bei hohem Niveau der Längskraft unterschätzt wird.

Schlüsselwörter:

Stahlbetonfeiler, Längsbelastung, kritischer Bereich, Dehnbarkeit

1. Uvod

Najčešća oštećenja AB stupova zbog potresa su gnječenje betona u tlaku, izvijanje uzdužne armature i otvaranje spona. Ta se oštećenja događaju zbog nedovoljnog ovijanja AB stupova u blizini spojeva s gredama, neprikladnog oblikovanja spona i velikih uzdužnih opterećenja. Proteklih 30 godina provedena su brojna istraživanja o ponašanju AB stupova izloženih savijanju. Mnogi parametri, kao što su veličina uzdužnog opterećenja, koeficijent armiranja sponama, oblikovanje spona, koeficijent armiranja uzdužnom armaturom, čvrstoća betona i granica popuštanja čelične armature mogu utjecati na seizmičko ponašanje AB stupova [1–16]. Svrha ovog istraživanja je ispitivanje seizmičkog ponašanja AB stupova analizom učinka značajnijih parametara na njihovu učinkovitost. Za ispitane uzorke razvijeni su i analizirani numerički modeli. Analitički rezultati se poklapaju s rezultatima eksperimentalnog ispitivanja. Osim što se analizom može precizno procijeniti krutost, opterećenje i deformacija pri vršnom opterećenju, moguće je procijeniti i postkritično ponašanje. Rezultati su pokazali da oba faktora, intenzitet

uzdužnog opterećenja i koeficijent armiranja sponama, imaju značajan utjecaj na čvrstoću, maksimalne pomake i sposobnost disipacije energije u stupovima.

U ovom je radu utjecaj uzdužnog opterećenja detaljno razmotren kroz analizu rezultata eksperimentalnog ispitivanja. Ispitano je 16 konzolnih stupova kvadratnog poprečnog presjeka, koji su prikazani na slikama 1. i 2., a izloženi su jednoosnim i dvoosnim horizontalnim pomacima u kombinaciji s različitim vrijednostima uzdužnog opterećenja [17, 18]. Na kraju je predložena jednadžba koja povezuje duljinu kritičnog područja stupova s iznosom primijenjenog uzdužnog opterećenja i uspoređena s izrazima iz alžirskih normi za potres RPA 99 / v2003, Eurokoda 8 i ACI 315. [19–21].

2. Svojstva materijala i postavke za ispitivanja

U ovom je istraživanju ispitano 16 konzolnih stupova kvadratnog poprečnog presjeka, a izloženi su jednoosnim i dvoosnim horizontalnim opterećenjem u kombinaciji s različitim iznosima uzdužnog opterećenja. Uzorci su dimenzionirani tako

da se slom javlja uslijed savijanja. Uzorci su opterećeni pomoću triju hidrauličnih preša, kojima se unose pomaci na vrhu stupa u tri ortogonalna smjera kao što je prikazano na slikama 1. i 2. Ispitane varijable i dimenzije uzoraka prikazane su u tablici 1. U toj su tablici prikazane i mehaničke karakteristike uzdužne i poprečne armature te tlačna čvrstoća betona.

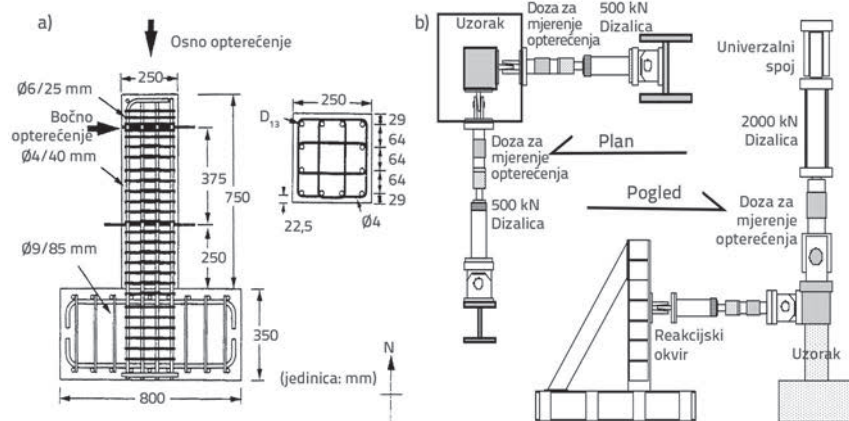
Uzorci su opterećeni u dva ciklusa pri kutovima rotacije od 0,25 %, 0,5 %, 1 %, 1,5 %, 2 %, 3 % i 4 % za manje uzorke. Za veće su uzorke kutovi rotacije iznosili 0,25 %, 0,5 %, 0,75 %, 1 %, 2 %, 3 %, i 4 %.

Uzorak L2NVC je ispitivan u četiri ciklusa, a kutovi rotacije su iznosili 0,25 % (4), 0,5 % (4), 0,25 % (2), 0,75 % (4), 1 % (4), 0,75 % (2), 2 % (4), 3 % (4), 2 % (2), i 4 % (4). Iznos osnovog opterećenja ovisio je o primijenjenom momentu [17, 18].

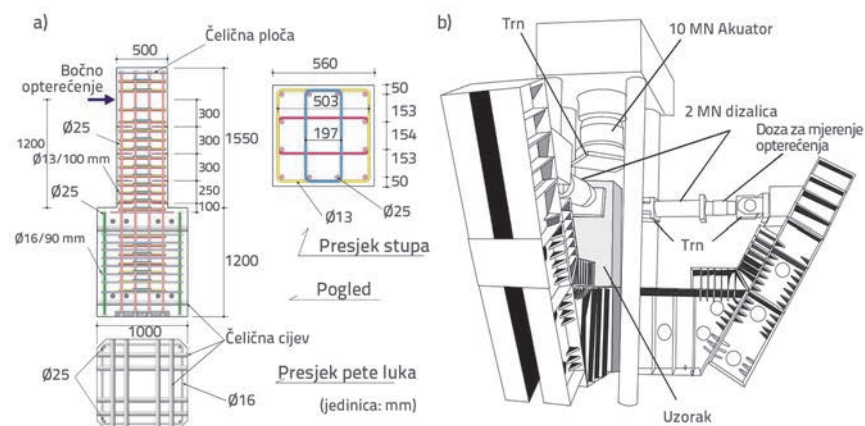
3. Rezultati eksperimentalnog ispitivanja

3.1. Utjecaj uzdužnog opterećenja na histereznu petlju normaliziranog horizontalnog opterećenja i kuta rotacije

Povećanje vrijednosti konstantnog uzdužnog opterećenja s $0,3f_c A_g$ na $0,6f_c A_g$ pri jednoosnom horizontalnom opterećenju uzrokovat će smanjenje



Slika 1. Dimenzije uzoraka i postavke ispitivanja za manje uzorke [17, 18]: a) Detalji armiranja; b) Postavke ispitivanja

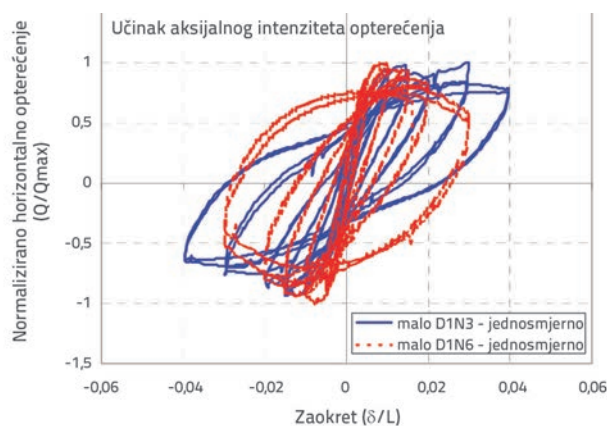


Slika 2. Dimenzije uzoraka i postavke ispitivanja za veće uzorke [17, 18]: a) Detalji armiranja; b) Postavke ispitivanja

Tablica 1. Geometrijska svojstva, opterećenja i armatura ispitanih stupova [17, 18]

Br.	Oznaka uzorka	Konfiguracija uzoraka					Ispitne varijable		
		Širina stupa D [mm]	Smicanje raspona L [mm]	Čvrstoća betona f_c [MPa]	Uzdužni stup (omjer)	Posmični stup (omjer)	Aksijalna sila (aksijalna snaga u sustavu $f_c D^2$)	Nagib u normaliziranom momentu - aksijalnom odnosu sile	Smjer horizontalnog opterećenja
1	D1N3	250	625	37,6	12-Ø13 2,44 % 461 MPa	Ø4/40 0,50 % 485 MPa	Konstanta (0,3)	0	Uni
2	D1N6						Konstanta (0,6)		
3	D2N3						Konstanta (0,3)		Bi
4	D2N6						Konstanta (0,6)		
5	D1NVA	242		26,8	12-Ø13 2,60 % 467 MPa	Ø4/40 0,52 % 604 MPa	Raznoliko (0-0,6)	1,39	Uni
6	D1NVB							2,79	
7	D2NVA							1,04	Bi
8	D2NVB							1,66	
9	L1D60	600	1200	39,2	12-Ø25 1,69 % 388 MPa	Ø13/100 0,85 % 524 MPa	Konstanta (0,6)	0	Uni
10	L1N60						Raznoliko (0-0,6)	2,47	Bi
11	L1NVA								
12	L2NVA						560		32,2
13	L1N6B	Raznoliko (0-0,6)	3,36	Bi					
14	L2N6B								
15	L2NVB								
16	L2NVC								

deformacijskog kapaciteta, koji je u ovom radu definiran kao deformacija pri kojoj je došlo do 20 postotnog smanjenja nosivosti na savijanje, i dodatno smanjenje nosivosti na savijanje nakon vršnog opterećenja. Međutim, histerezna petlja za uzorke opterećene velikim uzdužnim silama bit će pogodnija od petlje za uzorke opterećene umjerenim uzdužnim silama, kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Manji uzorci opterećeni konstantnim uzdužnim opterećenjem i jednoosnim horizontalnim opterećenjem: normalizirano horizontalno opterećenje u odnosu na kut rotacije [17, 18]

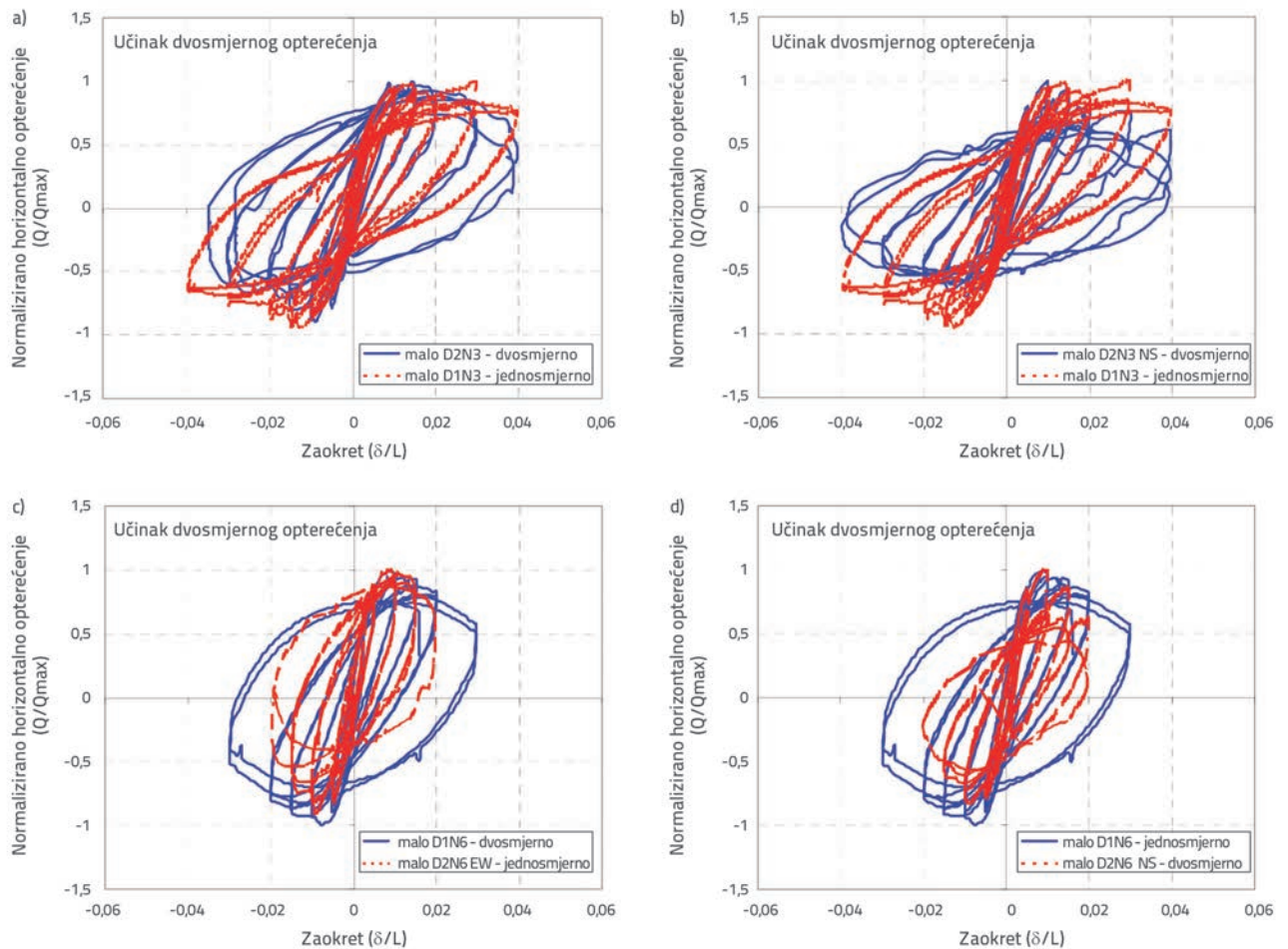
3.2. Utjecaj kosog savijanja na odnos normaliziranog horizontalnog opterećenja i kuta rotacije

Uzorci izloženi kosom savijanju su imali manju nosivost na savijanje za $0,3f_c A_g$ u odnosu na jednoosno opterećene stupove, dok je s druge strane disipirana veća količina energije, kao što je prikazano na slikama 4.a i 4.b.

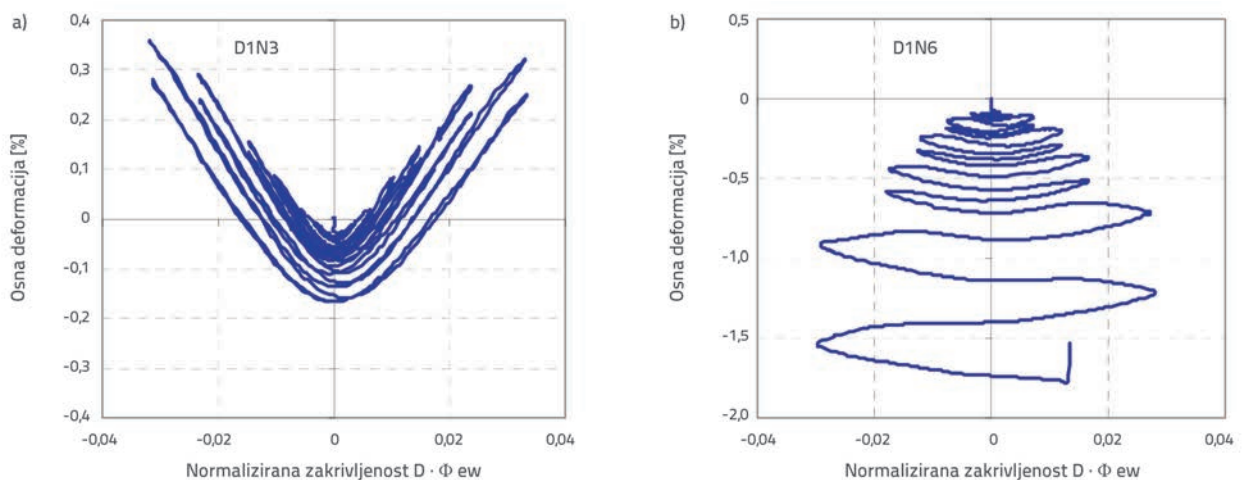
Uzorci izloženi kosom savijanju za $0,6f_c A_g$ imali su manju nosivost na savijanje, deformacijski kapacitet i disipirana je manja količina energije u odnosu na jednoosno opterećene stupove, kao što je prikazano na slikama 4.c i 4.d. To se može pripisati oštećenju betona, pri kosom savijanju su sve četiri plohe poprečnog presjeka izložene visokim tlačnim naprezanjima, dok su kod uzoraka izloženih jednoosnom opterećenju samo dvije plohe izložene visokim tlačnim naprezanjima.

3.3. Odnos uzdužne deformacije i normalizirane zakrivljenosti

Intenzitet uzdužnog opterećenja ima značajan utjecaj na skraćivanje stupova, kao što se može vidjeti na slici 5. Uzdužna deformacija je definirana kao omjer produljenja/skraćenja, mjereno na dnu stupa na duljini jednakoj statičkoj visini, i statičke visine stupa. Kao što se može vidjeti uzorak D1N3,



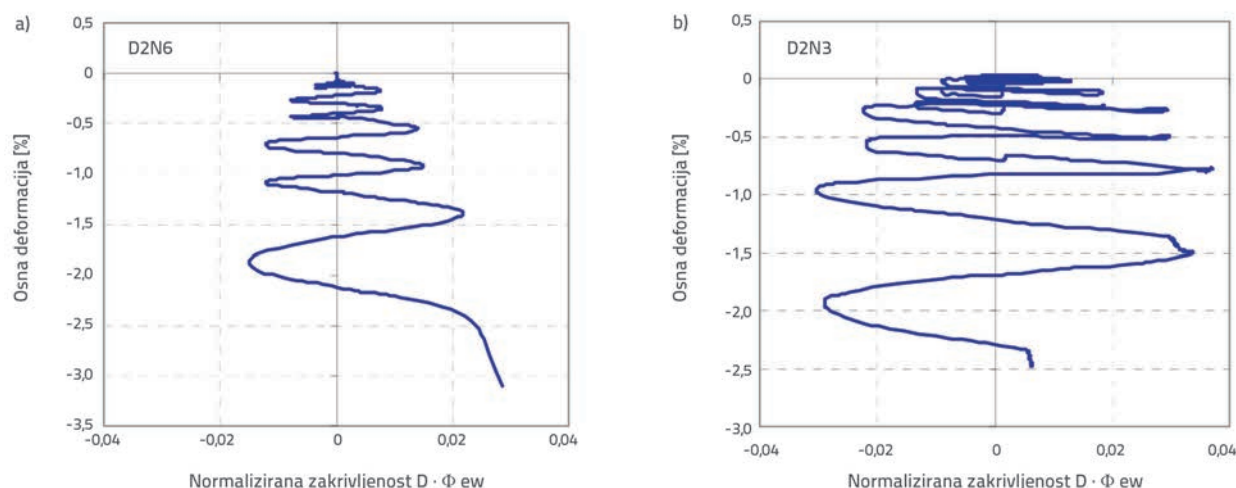
Slika 4. Utjecaj kosog savijanja na odnos normaliziranog horizontalnog opterećenja i zaokreta [17, 18]: a) D1N3 vs. D2N3 -EW; b) D1N3 vs. D2N3 -NS; c) D1N6 vs. D2N6 -EW; d) D1N6 vs. D2N6 -NS



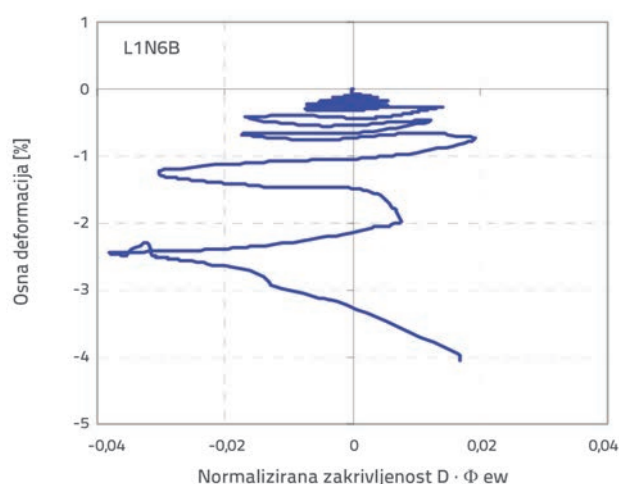
Slika 5. Manji uzorci izloženi konstantnom uzdužnom i jednoosnom horizontalnom opterećenju: odnos uzdužne deformacije i normalizirane zakrivljenosti [17, 18]: a) D1N3; b) D1N6

izložen jednoosnom horizontalnom i umjerenom vertikalnom opterećenju od $0,3f_c A_g$ doživljava značajnije produljenje u iznosu 0,35 %, od skraćivanja u iznosu 0,15 %. Uzorak D1N6, izložen dvostruko većoj vrijednosti tlačnog opterećenja u odnosu na

D1N3, doživljava samo skraćivanje. Treba napomenuti da je pri dvoosnom opterećenju uzorak D2N3 doživio samo skraćivanje, iako je izložen umjerenom opterećenju $0,3f_c A_g$ kao što se vidi na slici 6.



Slika 6. Manji uzorci izloženi konstantnom uzdužnom opterećenju i dvoosnom horizontalnom opterećenju: odnos uzdužne deformacije i normalizirane zakrivljenosti [17, 18]: a) D2N6 ; b) D2N3



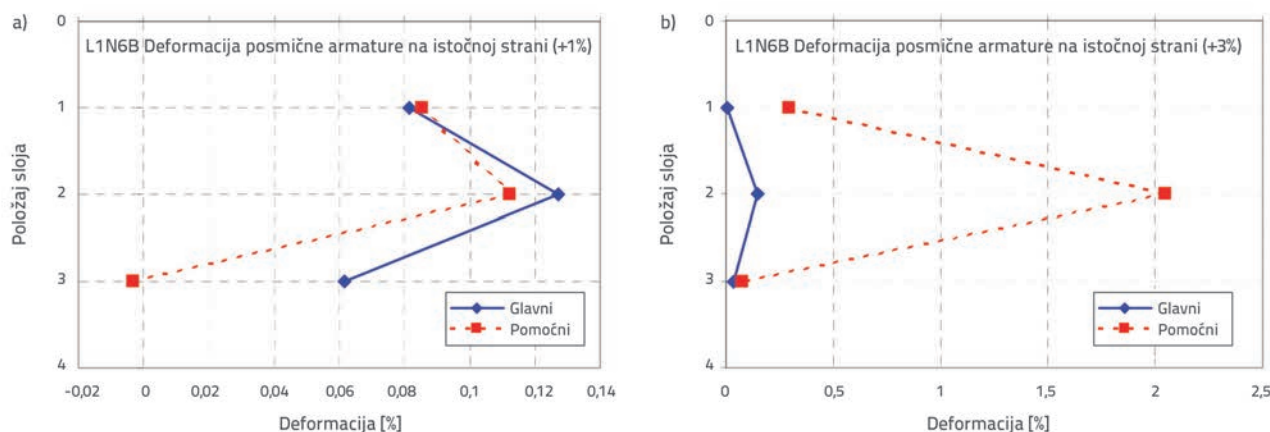
Slika 7. Veliki uzorci izloženi konstantnom uzdužnom opterećenju i jednoosnom horizontalnom opterećenju: odnos uzdužne deformacije i normalizirane zakrivljenosti [17, 18]

Može se zaključiti da smjer rezultantne horizontalne sile i veličina uzdužnog opterećenja imaju značajan utjecaj na seizmičko ponašanje stupova.

3.4. Raspodjela deformacija u uzdužnoj i poprečnoj armaturi

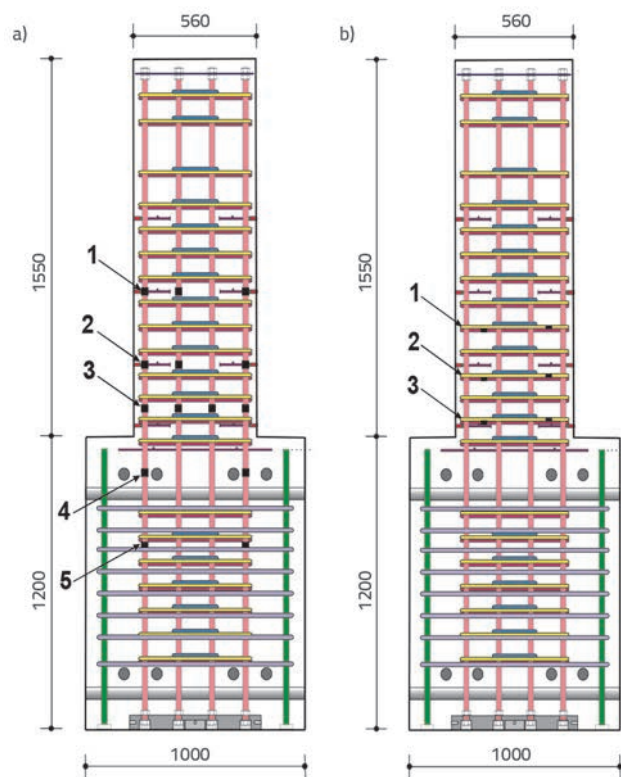
Tijekom ispitivanja najprije je došlo do odlamanja zaštitnog sloja betona, a zatim do izvijanja ugaone uzdužne armature. Kako se opterećenje povećavalo, tako se beton na uglovima stupa počeo gnječiti, a nosivost se postupno smanjivala kako su se oštećenja širila prema jezgri presjeka. To se može vidjeti na slici 8., koja pokazuje raspodjelu naprezanja na istočnoj strani poprečne armature, pri pomaku stupa od 1 % i 3 %, na tri različita mjesta duž stupa, kao što je prikazano na slici 9.b.

Deformacija u vanjskoj sponi se počela smanjivati s povećanjem deformacije na unutarnjim sponama. To znači da je beton na periferiji jezgre bio znatno oštećen, pa je

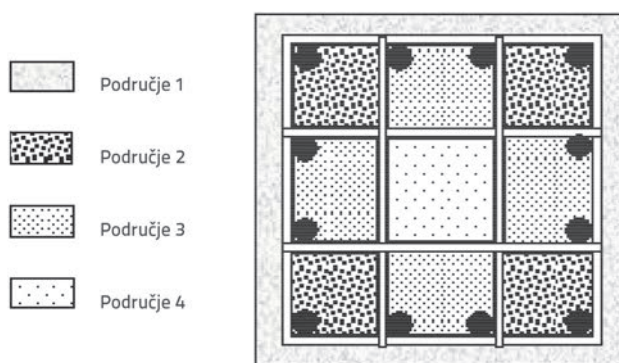


Slika 8. Raspodjela deformacija u poprečnoj armaturi za L1N6B [17, 18]: a) pomak od 1%; b) pomak od 3 %

efektivna površina betona znatno smanjena. Uzimajući u obzir oštećenja i rezultate koji su dobiveni na temelju raspodjele deformacija poprečne armature, presjek stupa podijeljen je u nekoliko područja. Ta su područja prikazana na slici 10., i označena brojevima od 1 do 4. Broj na svakom području označava redoslijed gnječenja betona.

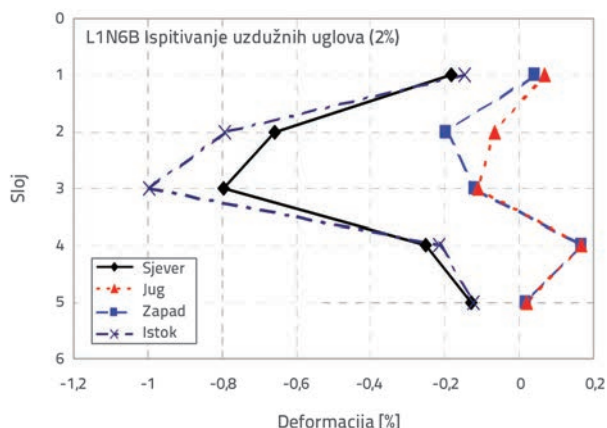


Slika 9. a) uzdužna ojačanja; b) poprečna ojačanja



Slika 10. Redoslijed pojave oštećenja u presjeku (po zonama)

Raspodjela deformacija ugaone uzdužne armature po visini stupa pri 2-postotnom pomaku prikazana je na slici 11. Maksimalna deformacija je izmjerena u drugom ili trećem sloju, kao što se može vidjeti na slici 8.a.



Slika 11. Raspodjela deformacija uzdužne armature [17, 18]

4. Zabilježena oštećenja

Za uzorke L1D60 izložene jednoosnom horizontalnom opterećenju u smjeru sjever-jug i uzdužnom opterećenju od 60 %, odlamanje zaštitnog sloja betona doseglo je visinu od 1,5 statičke visine presjeka. Oštećenje zaštitnog sloja odlamanjem zabilježeno je na uzorcima L1N60 na visini 1 do 1,5 statičke visine od dna stupa. Uzdužna armatura u sjeveroistočnom i sjeverozapadnom uglu se izvila na visini od 0,5 statičke visine, mjereno od dna stupa. Djelomično izvijanje uzdužne armature zabilježeno je na uzorku D1N6B, a zaštitni sloj se odlomio na visini od 1,0 do 1,4 statičke visine, mjereno od dna stupa. U uzorku L1N6B, samo su se dvije uzdužne šipke izvile od njih ukupno 12 tijekom ispitivanja, a pukotine na zapadnoj strani stupa bile su široke između 4 i 5 mm. Odlamanje zaštitnog sloja betona doseglo je visinu 0,5 do 1,4 statičke visine. Za uzorke L2N6B, izložene kosom savijanju, odlamanje zaštitnog sloja betona doseglo je visinu od 1,1 do 1,6 statičke visine, pri kutu zaokreta od 3 %.

Vertikalne pukotine uočene pri ispitivanju dosegle su visinu 1,6 statičke visine od dna stupa. Deset od dvanaest armaturnih šipki izvile su se do kraja ispitivanja. Izvijene šipke imale su oblik slova "S" na visini između 0,2 i 0,8 statičke visine, mjereno od temelja stupa.

Iz promatranih oštećenja uzoraka različitih veličina (mali/veliki) može se zaključiti sljedeće:

- Područje stupa u kojem dolazi do odlamanja zaštitnog sloja betona značajno se povećava s veličinom stupova, kao što je prikazano na slici 12. Jasno je vidljivo da je kod manjih stupova područje oštećenja značajno manje.
- Izvijanje uzdužnih šipki je izraženije kod većih stupova za isti pomak, kao što je prikazano na slici 13.

Može se zaključiti da veličina stupova također ima značajan utjecaj na seizmičko ponašanje stupova, a posebno na vrstu oštećenja.



Slika 12. Oštećenja na uzorcima izloženima konstantnim uzdužnim opterećenjem i jednoosnim horizontalnim opterećenjem [17, 18]: a) Veliki uzorak; b) Manji uzorak



Slika 13. Širenje poprečne armature i odlamanje betona na uglovima stupa [17, 18]

5. Predložena jednadžba za kritičnu duljinu stupa

Duljina kritičnog područja L_c u blizini spojeva stup-greda i pri dnu stupa prema alžirskim normama za potres RPA 99/v2003, ACI 315 i Eurocodu 8 [19-21] iznosi, redom:

$$L_c = \text{Max}\left(\frac{h_e}{6}; D; 60 \text{ cm}\right) \quad (1)$$

$$L_c = \text{Max}\left(D; \frac{h_e}{6}; 50 \text{ cm}\right) \quad (2)$$

$$L_c = \text{Max}\left(1.5D; \frac{h_e}{6}; 60 \text{ cm}\right) \quad (3)$$

Na temelju ispitivanja se predlaže jednadžba (5):

$$L_c = \left(1.42 + 0.63 \frac{N}{f_c A_g}\right) D \quad (5)$$

Prema predloženoj jednadžbi, duljine kritičnog područja iznose $L_c = 1,42D$ i $1,8D$ za $N/f_c A_g = 0$ i $0,6$.

gdje je h_e svijetla visina stupa, a D je najveća dimenzija poprečnog presjeka stupa.

Prema izrazima (1), (2) i (3) kritična duljina je neovisna o veličini uzdužnog opterećenja, što nije u skladu s rezultatima eksperimentalnog ispitivanja. S. Watson [22] je 1989. predložio izraz za određivanje kritične duljine stupa koja uzima u obzir intenzitet uzdužnog opterećenja, izraz (4):

$$L_c = \left(1 + 2.8 \frac{N}{f_c A_g}\right) D \quad (4)$$

Zahtijevana kritična duljina predložena je na temelju izmjerenih duljina odlamanja zaštitnog sloja betona, uslijed različitih uzdužnih opterećenja, a prikazane su u tablici 2.

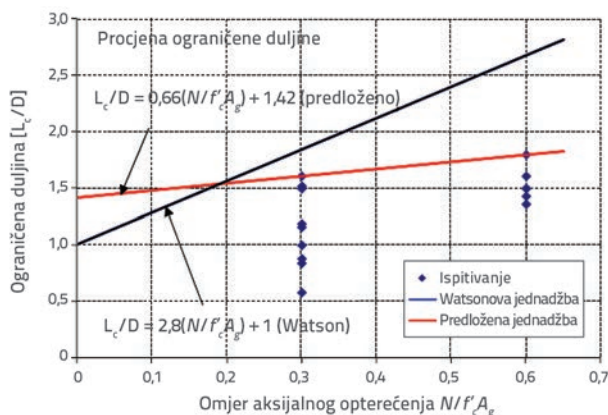
Tablica 2. Duljine oštećenja na stupu [L_c (%D)] [17, 18]

Uzorak	$f'_c A_g$	L_c [%D]
D1N3	0,3	0,84
D2N3	0,3	1,16
D1NVA	0,3	1
D1NVB	0,3	0,58
D2NVA	0,3	0,88
D2NVB	0,3	1,19
L1NVA	0,3	1,5
L2NVA	0,3	1,5
L2NVB	0,3	1,52
L2NVC	0,3	1,61
D1N6	0,6	1,36
D2N6	0,6	1,8
L1D60	0,6	1,5
L1N60	0,6	1,5
L1N6B	0,6	1,43
L2N6B	0,6	1,61

Tablica 3. Usporedbe kritičnih duljina u različitim normama i ispitivanju

Uzorak	$\frac{N}{f_c' A_g}$	Promjer i duljina stupa (mm)	RPA 2003	Eurocode 8	ACI 315	Watsonova jednadžba	Predložena jednadžba
			$L_c = \text{Max}(D; \frac{h_e}{6}; 60 \text{ cm})$	$L_c = \text{Max}(1.5D; \frac{h_e}{6}; 60 \text{ cm})$	$L_c = \text{Max}(D; \frac{h_e}{6}; 50 \text{ cm})$	$L_c = \left(1 + 2.8 \frac{N}{f_c' A_g}\right) D$	$L_c = \left(1.42 + 0.63 \frac{N}{f_c' A_g}\right) D$
D1N3	0,3	D = 250 L = 625	2,4 D	2,4 D	2 D	1,84 D	1,6 D
D2N3							
D1NVA							
D1NVB		D = 242 L = 625	2,48 D	2,48 D	2,06 D		
D2NVA							
D2NVB							
L1NVA	0,6	D = 600 L = 1200	D	1,5 D	D	2,68 D	1,8 D
L2NVA							
L2NVB		D = 560 L = 1200	1,07 D	1,5 D	D		
L2NVC							
L1D60		D = 600 L = 1200	D	1,5 D	D		
L1N60							
L1N6B	0,6	D = 560 L = 1200	1,07 D	1,5 D	D	2,68 D	1,8 D
L2N6B							
D1N6		D = 250 L = 625	2,4 D	2,4 D	2 D		
D2N6							

Za iste vrijednosti uzdužnog opterećenja, Watsonovom jednadžbom određene su sljedeće vrijednosti: $L_c = 1,0D$ i $2,68D$. Watsonova jednadžba i u radu predložena jednadžba uspoređene su s rezultatima istraživanja na slici 14. Kao što se može vidjeti, Watsonova jednadžba podcjenjuje kritičnu duljinu stupa za vrijednosti uzdužnog opterećenja $N/f_c' A_g \leq 0,2$, i precjenjuje ju iznad te vrijednosti.



Slika 14. Pretpostavljena kritična duljina stupa i rezultati ispitivanja

Uočena oštećenja velikih uzoraka pokazuju da je duljina potencijalnih plastičnih zglobova za stupove s visokim

uzdužnim tlačnim opterećenjima $0,6f_c' A_g$, definiranim prema alžirskim normama za potres RPA99/v2003, podcijenjena. Duljinu kritičnog područja u normi treba povećati kako bi se spriječilo moguće otkazivanje stupova izvan područja plastičnih zglobova.

Na primjer, alžirske norme za potres, ACI 315 i Eurocode 8, za uzorke L2N6B predlažu kritičnu duljinu od $1,07D$, $1,0D$ i $1,5D$, što je manje od kritične duljine $1,6D$, koja je dobivena na temelju eksperimentalnih ispitivanja, kao što je prikazano u tablici 3.

6. Zaključak

U ovom su radu prikazani i objašnjeni neki od značajnijih rezultata eksperimentalnih programa koji su provedeni na 16 armiranobetonskih stupova s različitim razinama uzdužnog opterećenja. Glavni zaključci ovog istraživanja su sljedeći:

- Uočena oštećenja na velikim uzorcima su pokazala da je duljina potencijalnog plastičnog zgloba stupa opterećenog uzdužnom tlačnom silom iznosa $0,6f_c' A_g$, koji su dani u alžirskim normama za potres RPA 99/v2003, podcijenjena. Zahtijevana kritična duljina stupa mora biti veća kako bi se spriječio lom stupa izvan ovijenog područja. Na temelju podataka dobivenih eksperimentalnim ispitivanjem, predložena je jednadžba koja u obzir uzima veličinu stupova i intenzitet uzdužnog opterećenja.

- Smjer rezultante horizontalnog opterećenja, jednoosnog ili dvoosnog, ima značajan utjecaj na seizmičko ponašanje stupova, kao i na vrstu oštećenja.
- Poprečni presjek stupova podijeljen je na područja od 1 do 4, na temelju zabilježenih oštećenja stupova i rezultata

ekstenzometra za poprečnu armaturu, a područja su određena na temelju redoslijeda gnječenja betona.

- Područje odlamanja zaštitnog sloja betona značajno se povećava kod većih uzoraka. To je uočeno pri vizualnom pregledu stupova.
- Izvijanje uzdužne armature je značajnije kod većih uzoraka (pri istom pomaku).

LITERATURA

- [1] Azizinamini, A., Corley, W.G., Johal, L.S.P.: Effects of transverse reinforcement on seismic performance of columns, *ACI Structural Journal*, 89 (1992) 4, pp. 442-450.
- [2] Lam, S.S.E., Wu, B., Wong, Y.L., Wang, Z.Y., Liu, Z.Q., Li, C.S.: Drift capacity of rectangular reinforced concrete columns with low lateral confinement, *ASCE, Structural Engineering*, 129 (2003) 6, pp. 733-742.
- [3] Lynn, A.C., Moehle, J.P., Mahin, S.A., Holmes, W.T.: Seismic evaluation of existing reinforced concrete building columns, *Earthquake Spectra*, 12 (1996) 4, pp. 715-739.
- [4] Saatcioglu, M., Ozcebe, G.: Response of reinforced concrete columns to simulated seismic loading, *ACI Structural Journal*, 86 (1989) 1, pp. 3-12.
- [5] Sargin, M., Ghosh, S.K., Handa, V.K.: Effects of Lateral Reinforcement Upon the Strength and Deformation Properties of Concrete, *Magazine of Concrete Research*, 23 (1971) 75, pp. 99.
- [6] Skeikh, S.A., Khoury, S.S.: Confined concrete columns with stubs, *ACI Structural Journal*, 90 (1993) 4, pp. 414-431.
- [1] Wehbe, N.I., Saiidi, M.S., Sanders, D.H.: Seismic performance of rectangular bridge columns with moderate confinement, *ACI Structural Journal*, 96 (1999) 2, pp. 248-259.
- [8] Xiao, J., Zhang, C.: Seismic behavior of RC columns with circular, square and diamond sections, *Constructions and Building Materials*, 22 (2008) 5, pp. 801-810.
- [9] Su, J., Wang, J.Z., Bai, W., Wang, W., Zhao, D.: Influence of reinforcement buckling on the seismic performance of reinforced concrete columns, *Eng. Struct.*, 103 (2015), pp. 174-188.
- [10] Yuan, F., Wu, Y.F.: Effect of load cycling on plastic hinge length in RC columns, *Eng. Struct.*, 147 (2017), pp. 90-102.
- [11] Shirmohammadi, F., Esmaily, A.: Performance of reinforced concrete columns under bi-axial lateral force/displacement and axial load, *Eng. Struct.*, 99 (2015), pp. 63-77.
- [12] Choi, K.K., Truong, G.T., Kim, J.C.: Seismic performance of lightly shear reinforced RC columns, *Eng. Struct.*, 126 (2016), pp. 490-504.
- [13] Jing, D.H., Yu, T., Liu, X.D.: New configuration of transverse reinforcement for improved seismic resistance of rectangular RC columns: Concept and axial compressive behavior, *Eng. Struct.*, 111 (2016), pp. 383-393.
- [14] Zhenyun, T., Hua, M., Jun, G., Yongping, X., Zhenbao, L.: Experimental research on the propagation of plastic hinge length for multi-scale reinforced concrete columns under cyclic loading, *Earthquakes and Structures*, 11 (2016) 5.
- [15] Bhayusukma, M.Y., Tsai, K.C.: High-strength RC columns subjected to high-axial and increasing cyclic lateral loads, *Earthquakes and Structures*, 7 (2014) 5, pp. 779-796.
- [16] Au, F.T.K., Bai, Z.Z.: Effect of axial load on flexural behaviour of cyclically loaded RC columns, *Computers and Concrete*, 3 (2006) 4, pp. 261-284.
- [17] Bechtoula, H., Kono, S., Watanabe, F.: Experimental and analytical investigation of seismic performance of cantilever reinforced concrete columns under varying transverse and axial loads, *JAABE*, 4 (2005) 2, pp. 467-475.
- [18] Kono, S., Bechtoula, H., Sakashita, M., Tanaka, H., Watanabe, F., Eberhard, M.O.: Damage assessment of reinforced concrete columns under high axial loading, *ACI Special Publication*, 237 (2006) SP, pp. 165-176.
- [19] Ministry of Housing and Urban Planning. Règles parasismique algériennes RPA 99/version 2003.
- [20] Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, *BS EN 1998-1:2004*.
- [21] ACI 315-99: Details and Detailing of Concrete Reinforcement. Reported by ACI Committee 315, 1999.
- [22] Watson, S., Soesianawati, M.T., Park, R.: Design of reinforced concrete frames of limited ductility, Report 89-4, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, pp. 232, 1989.